



(74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都
港区赤坂 2 丁目 6-2 0 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

ファイバレーザ、自然放出光源及び光ファイバ増幅器

技術分野

- [0001] 本発明は、ファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器に関し、特にコア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした $2\mu\text{m}$ 帯近傍で動作するファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器に関する。

背景技術

- [0002] 図1はトリウムイオンのエネルギー準位図(非特許文献1参照)であり、図1中の各エネルギー準位の右側にエネルギー値を、図1中の各エネルギー準位の左側に各準位の名称を、矢印に付与された数字は各矢印の遷移が生じたときに吸収(図1中、上向きの矢印(図示しない)に相当する)、または放出(図1中、下向きの矢印に相当する)される光の波長をそれぞれ示す。ただし、エネルギーの単位は、波数単位を基本とした $1/\text{cm}$ (分光学で言うと、 K (カイザー)に相当する)で表し、エネルギー準位の名称は、Russell-Saunders (ラッセル・ソンドーズ)の表記法にもとづくものであり、アルファベットの大文字は合成軌道角運動量を、その上付きの添数字は電子の全スピン角運動量にもとづくスペクトル項の多重度を、その下付きの添数字は全角運動量をそれぞれ表すものである。なお、 $^3\text{H}_6$ 準位は、結晶電場によって生じるシュタルク効果により、縮退していた準位が分裂して広がった幅のある準位となっている。

- [0003] ツリウム(Tm)をコアに添加したファイバにおいては、トリウムイオンの図1中の $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移(トリウムイオンのエネルギーが $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{H}_6$ 準位に移ることを表すものとし、以下、この表記法に従う。)を用いた $1.9\mu\text{m}$ 帯、

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 遷移を用いた $2.3\mu\text{m}$ 帯、

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移を用いた $0.82\mu\text{m}$ 帯

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 遷移を用いた $1.48\mu\text{m}$ 帯、

を用いたファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイバ増幅器への応用が検討されている。なお、上記遷移間でのファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイ

バ増幅器を高効率で実現するために、Tm(ツリウム)を添加するファイバとして、フッ化物ファイバが用いられている。このTm添加フッ化物ファイバの中で、特に、 $2.3\mu\text{m}$ 帯は半導体レーザでの発振が難しく、また、現在、巨大ビジネスの可能性を有し、国内外の多くの医療検査装置開発企業がしのぎを削って開発競争が進められている無侵襲血糖値センシング用の光源として大きな注目を集めている。

[0004] これまで、

- (1) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.67\mu\text{m}$ 帯励起($^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_3$ 準位に励起)(非特許文献1参照)を適用して、 $0.82\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、
 - (2) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.8\mu\text{m}$ 帯励起($^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_4$ 準位に励起)(非特許文献2、あるいは特許文献1参照)、を適用して、 $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、
 - (3) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.8(0.79)\mu\text{m}$ 帯励起(特許文献1参照)に適用して、 $0.82\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、
 - (4) Tm添加フッ化物ファイバに、 $1.55\sim 1.75\mu\text{m}$ 帯励起、 $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{H}_4$ 準位に励起(特許文献2参照)を適用して、 $1.9\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ増幅器、
 - (5) Tm添加フッ化物ファイバに、 $1.06\mu\text{m}$ 帯励起(特許文献2参照)を適用して、 $1.48\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ増幅器、
- が報告されており、上記報告の(1)、(2)及び(3)により、 $2.3\mu\text{m}$ 帯ファイバレーザがすでに開発されている。

[0005] 特許文献1:特開平3-293788号公報

特許文献2:特開平6-283798号公報

非特許文献1:J.Y. Allain et al., "Tunable CW lasing around 0.82, 1.48, 1.88 and $2.35\mu\text{m}$ in Thulium-doped fluorozirconate fiber" Electron. Lett., Vol.25, No.24, pp.1660-1662, 1989年発行

非特許文献2:L. Esterowitz et al., "Pulsed laser emission at $2.3\mu\text{m}$ in a Thulium-doped fluorozirconate fiber", Electron. Lett., Vol.24, No.17, p.1104, 1988

年発行

非特許文献3:A. Taniguchi, et al., “1212-nm pumping of 2 μ m Tm-Ho-codoped silica fiber laser”, Appl. Phys. Lett., Vol.81, No.20, pp.3723-3725, 2002年発行

非特許文献4:P.R. Barber, et al., “Infrared-induced photodarkening in Tm-doped fluoride fiber”, Opt. Lett., Vol.20(21), pp.2195-2197, 1995年 発行

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、0.67 μ m或いは0.8 μ m帯励起は、活性媒体としてTm添加フッ化物ファイバを用いたもののみが報告されて、他のガラスホスト(母材)を用いたTm添加ファイバに関しての報告は無かった。すなわち、これまで、如何なるガラスホストのファイバが2.3 μ m帯動作のレーザ応用に適するのかは明らかになっていなかった。
- [0007] さらに、Tmを添加してフッ化物ファイバに波長1.05 μ m以下の強い光を入射すると、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニング(非特許文献4参照)が発生する現象がある。図2は、Tm添加フッ化物ファイバ(添加濃度2000wt. ppm、ファイバ長20m、比屈折率差3.7%)に、1.047 μ m帯Nd-YLFレーザ光、500mWを入射する前の損失スペクトル(実線の曲線)と、そのレーザ光入射後の56時間後の損失スペクトル(破線の曲線)を示す。この図示の損失増はレーザ光の入射によりフッ化物ファイバのガラス中に欠陥が生じるためであり、この現象はその入射する波長が短波長になればなるほど顕著になる。このため、0.67 μ m或いは0.8 μ m帯励起を用いたTm添加フッ化物ファイバによる2.3 μ m帯動作のレーザ応用を考えた場合には、その発振効率が時間と共に減少し、最後には、レーザ発振ができなくなるという、信頼性上の課題があった。このため、無侵襲血糖評価装置等の応用に従来このような光源を利用したとしても信頼性のある実用的な光源となり得なかった。
- [0008] なお、1.2 μ m帯励起を用いたTm³⁺とHo³⁺を共添加したフッ化物ファイバによる1.9 μ m帯のレーザ発振が報告されている(非特許文献3参照)。しかし、これは、Tm³⁺の³H₄から³H₅準位へのレーザ遷移を利用するものではなく、また2.3 μ m帯の発光に関するものでもない。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、かかる事情に鑑みなされたものであり、その主な目的は、

1) 2.3 μm 帯で動作するために必要なTmを添加するガラスホストを明確にして、同帯域で動作するファイバレーザ、自然放出(ASE)光源、及びファイバ増幅器を確実に実現すると共に、

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を実現することにある。

[0010] 上記目的を達成するために、本発明の特徴は以下の2点にある。

1) 2.3 μm 帯で動作するために必要なTmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いる。

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化をなくすためにTm添加ファイバに入射する励起の波長として1.2 μm 帯を用いる。

本発明はこの特徴により無侵襲血糖評価装置等の実用的な装置への応用が実現できる。

発明の効果

[0011] 本発明は、上記特徴により、以下の効果を奏する。

1) Tmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が石英ガラスより低いガラスを用いるので、2.3 μm 帯域で動作するファイバレーザ、ASE光源(自然放出光源)及び光ファイバ増幅器を確実に実現することができる。

2) Tm添加ファイバに入射する励起の波長として1.2 μm 帯(1.2 μm 帯励起)を用いるので、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を有する実用的な、2.3 μm 帯域で動作するファイバレーザ、ASE光源及び光ファイバ増幅器を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1] 図1はトリウムイオンのエネルギー準位図である。

[図2] 図2はTm添加フッ化物ファイバのフォトダークニングを説明するグラフ図である。

[図3] 図3は各種ガラスの非発光緩和率の特性を示すグラフ図である。

[図4]図4は本発明に係わる0.67 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

[図5]図5は本発明に係わる0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

[図6]図6は本発明に係わる0.67 μm 帯励起の0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

[図7]図7は本発明に係わる1.2 μm 帯励起 Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバ及び Tm^{3+} 添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルの図である。

[図8]図8は本発明に係わる1.2 μm 帯励起 Tm^{3+} 添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加カルコゲナイドガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加ビスマス系ガラスファイバ及び Tm^{3+} 添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

[図9]図9は本発明の1.2 μm 帯励起の有効性を説明するグラフ図である。

[図10]図10は本発明の第1の実施例のファイバレーザの構成を示す模式図である。

[図11A]図11Aは本発明の第1の実施例における2.3 μm 帯バンドパスフィルタの特性を示すグラフ図である。

[図11B]図11Bは本発明の第1の実施例における1.8 μm 帯バンドパスフィルタの特性を示すグラフ図である。

[図12]図12は本発明の第1の実施例における2.3 μm 帯ファイバレーザの出力特性を示すグラフ図である。

[図13]図13は本発明の第2の実施例の光ファイバ増幅器の構成を示す模式図である。

[図14]図14本発明の第3の実施例の自然放出光源の構成を示す模式図である。

符号の説明

- [0013]
- 1 利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ
 - 2 1.2 μm 帯励起光源
 - 3 ダイクロイックミラー
 - 4 反射ミラー
 - 5 2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯バンドパスフィルタ

6 集光レンズ

7 全反射ミラー

発明を実施するための最良の形態

[0014] 以下に、本発明を実施するための最良の形態を、上記の本発明の特徴1)、2)に基づいて詳細に説明する。

[0015] (本発明の特徴1の説明)

Tmを添加した光ファイバの2.3 μm 帯の蛍光は、図1に示すように $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移による。また、この遷移によるレーザ応用を実現する場合には、 $^3\text{F}_4$ 準位に滞在するTmイオンの滞在時間を長く(つまり、蛍光寿命を長く)して、 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間で反転分布を形成する必要がある。このためには、 $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位に非発光で緩和するTmイオンを減らすことが重要であると考えられる。図3に、各種ガラスの非発光緩和率の特性を示す。なお、この非発光は $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位へのマルチフォノン緩和に起因する。 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間のエネルギー差は $\sim 4300 (1/\text{cm})$ であり、石英ガラス(ケイ酸塩ガラス)に比べ、テルライトガラス、ゲルマン酸塩ガラス、フッ化物ガラス、カルコゲナイドガラスが小さな非発光緩和率を有することが図3から分かる。また、図3に記載していないが、ビスマス系ガラス及びフツリン酸ガラスも石英に比べて非発光緩和率は小さい。この知見に従い、本発明者らは、各種のガラスホストの異なるTm添加光ファイバを作製して、0.67 μm 帯励起、0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを実測し、その結果を図4、図5、図6に示す。

[0016] なお、ここで使用した光ファイバの諸元は、

- ・ Tm添加フッ化物ファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.6%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加テルライトファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2.5%、カットオフ波長1.4 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加カルコゲナイドガラスファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.0%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ: Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折率差1

・ 1%、カットオフ波長 $1.3\mu\text{m}$ 、ファイバ長 10m

・ Tm添加石英ファイバ:Tm添加濃度 1500wt. ppm 、比屈折率差 1.8% 、カットオフ波長 $1.2\mu\text{m}$ 、ファイバ長 10m

・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ:Tm添加濃度 1000wt. ppm 、比屈折率差 2.5% 、カットオフ波長 $1.43\mu\text{m}$ 、ファイバ長 3m

・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ:Tm添加濃度 2500wt. ppm 、比屈折率差 1.1% 、カットオフ波長 $1.36\mu\text{m}$ 、ファイバ長 3.5m

・ Tm添加リン酸ガラスファイバ:Tm添加濃度 1800wt. ppm 、比屈折率差 1.55% 、カットオフ波長 $1.53\mu\text{m}$ 、ファイバ長 2.9m

である。また、励起光量は $0.67\mu\text{m}$ 帯が 200mW 、 $0.8\mu\text{m}$ 帯が 150mW である。

[0017] 図4、図5、図6に示すように、石英ガラスに比べて、小さな非発光緩和率を有する、テルライトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバ、フッ化物ファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ及びフツリン酸ガラスファイバにおいて、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の自然放出光が観測された。一方、石英系ファイバ及び、石英ガラスよりも大きな非発光緩和率を有するリン酸ガラスファイバでは、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の自然放出光が観測されなかった。このことにより、石英ガラスに比べて、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が小さなガラスをホストガラスとした光ファイバにより、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の蛍光が得られることが明らかとなった。すなわち、この蛍光により、Tmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いることで、 $2.3\mu\text{m}$ 波長域でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

[0018] (本発明の特徴2の説明)

始めに、Tm添加ファイバへの $1.2\mu\text{m}$ 帯励起による $2.3\mu\text{m}$ 帯のレーザ応用(ファイバレーザ、自然放出光源、及び光増幅器)に関して説明する。本励起による $2.3\mu\text{m}$ 帯レーザ応用は、 $1.2\mu\text{m}$ 帯の励起により、 ${}^3\text{H}_6$ 基底準位にあるツリウムイオンをまず ${}^3\text{H}_5$ 準位に励起し、この準位のから ${}^3\text{H}_4$ 準位にいったん無輻射過程により緩和し、さらに ${}^3\text{H}_4$ 準位から ${}^3\text{F}_2$ 準位に励起し、最後に ${}^3\text{F}_2$ 準位にあるツリウムイオンを無輻射過程により ${}^3\text{F}_4$ 準位に緩和することにより、 ${}^3\text{F}_4$ 準位と ${}^3\text{H}_5$ 準位間に反転分布を形成す

ることによって実現され则认为る。(なお、Tm添加ファイバに入射する励起の波長として1.2 μ m帯(1.2 μ m帯励起)を用いて2.3 μ m帯のレーザ応用(ファイバレーザ、自然放出光源及び光増幅器)を実現することに関して、従来は全く報告されていなかった。)

[0019] 図7に1.2 μ m帯励起Tm³⁺添加フッ化物ファイバ及びTm³⁺添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルを示す。³F₄準位→³H₅準位に起因する2.3 μ m帯(蛍光ピークは2.05 μ mであるが、これは1.2 μ m帯の励起光量によってシフトする)の自然放出光スペクトルが生ずることが分かり、1.2 μ m帯の励起光量によってTm添加フッ化物ファイバ、Tm添加テルライトガラスファイバにより2.3 μ m帯で蛍光が生ずるというのは本発明者らによる新たな知見であり、従来知られていなかったものである。なお、Tm添加石英系ファイバでは2.3 μ m帯の蛍光は観測されない。

[0020] さらに、図8に、1.2 μ m帯励起Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイドガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ、及びTm³⁺添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光特性も合わせて示す。この特性も、1.2 μ m帯励起Tm³⁺添加フッ化物ファイバ及びTm³⁺添加テルライトファイバと同様に、本発明者らによる新たな知見であると共に、上記の本発明の特徴1の説明で明らかにされた石英ガラスに比べ、小さな非発光緩和率を有するガラスをホストガラスとした光ファイバにより、2.3 μ m帯の蛍光が得られることが1.2 μ m帯励起でも明らかとなった。すなわち、このことにより、1.2 μ m帯励起により、2.3 μ m帯でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

[0021] なお、1.2 μ m帯励起を用いたTm³⁺添加フッ化物ファイバに関しては、それ自体の報告はないが、Tm³⁺とホロニウム(Ho)の両者を共添加したTm-Ho共添加ファイバによる1.9 μ m帯のレーザ発振が報告(非特許文献3参照)されている。しかし、この報告は、Tm³⁺の³H₄から³H₅準位へのレーザ遷移を利用するものではなく、また2.3 μ m帯に関するものではない。

[0022] 次に、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性化に関して説明する。図9に、Tm添加フッ化物ファイバ(添加濃度2000wt. ppm、ファイバ長20 m、比屈折率差3.7%)に1.21 μ m帯半導体LD(レーザダイオード)光、～500m

Wを入射する前の損失スペクトル(実線の曲線)と、その光を入射した100時間後の損失スペクトル(鎖線の曲線)を示す。図9の結果からわかるように、1.2 μm 帯励起を採用することにより、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニングを抑えることが実現でき、高信頼を有する実用的な2.3 μm 帯レーザ応用が可能であることが分かる。(なお、図9では、若干励起光を入射する前と1.21 μm 帯励起光入射後のスペクトルが異なっているが、これは測定精度に起因する誤差と考えられる。)

[0023] さらに、下記の表1に、 Tm^{3+} 添加テルライトファイバ、 Tm^{3+} 添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加カルコゲナイドガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加ビスマス系ガラスファイバ及び Tm^{3+} 添加フツリン酸ガラスファイバ(前述の本発明の特徴1の説明の欄に示す諸元の各ファイバを使用して測定した)の1.047 μm 帯励起と1.21 μm 帯励起時の波長600nmにおける損失変化を示す。この測定結果から、フッ化物ファイバの他のガラスにファイバに対しても1.2 μm 帯励起が信頼性向上に有効であることが分かる。

[0024] [表1]

ファイバ	1.047 μm 帯励起(500mW, 56時間)後の単位当りの損失増(波長600nm) (dB/m)	1.2 μm 帯励起(500mW, 100時間)後の単位当りの損失増(波長600nm) (dB/m)
テルライトガラスファイバ	0.81	<0.01
ゲルマン酸塩ガラスファイバ	0.92	<0.01
カルコゲナイドガラスファイバ	0.77	<0.01
ビスマス系ガラスファイバ	0.71	<0.01
フツリン酸ガラスファイバ	0.85	<0.01

[0025] 以下に、図面を参照して、本発明をより具体的に詳述するが、以下に開示する本発明の実施例は本発明の単なる例示に過ぎず、本発明の範囲をなんら限定するものではない。

実施例 1

[0026] 本発明の第1の実施例では2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯のファイバレーザへの本発明の応用を説明する。図10に本発明の第1の実施例の配置構成を示す。ここで、1

は利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ、2は $1.2\mu\text{m}$ 帯励起光源(半導体レーザであって、発振波長 $1.21\mu\text{m}$ 、最大出力 200mW)、3はダイクロイックミラー($1.2\mu\text{m}$ 帯の光を反射、 $1.6\sim 2.4\mu\text{m}$ 帯光を透過)、4は反射ミラー($1.6\sim 2.4\mu\text{m}$ 帯で反射率 50% 、 $1.2\mu\text{m}$ 帯光は 100% 透過)、5は $2.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.8\mu\text{m}$ 帯バンドパスフィルタ(同フィルタの透過特性を図11Aおよび図11Bに示す)、6は集光レンズ、7は全反射ミラー($1.6\sim 2.4\mu\text{m}$ 帯光で反射率 95% 以上)である。 Tm^{3+} 添加ファイバ1として、下記の各種添加ファイバを1つずつ交換して使用した。

[0027] 使用した Tm^{3+} 添加ファイバ1の諸元は、

- ・ Tm 添加フッ化物ファイバ: Tm 添加濃度 2000wt. ppm 、比屈折率差 1.6% 、カットオフ波長 $1.5\mu\text{m}$ 、ファイバ長 5m
 - ・ Tm 添加テルライトファイバ: Tm 添加濃度 2000wt. ppm 、比屈折率差 2.5% 、カットオフ波長 $1.4\mu\text{m}$ 、ファイバ長 5m
 - ・ Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバ: Tm 添加濃度 2000wt. ppm 、比屈折率差 1.0% 、カットオフ波長 $1.5\mu\text{m}$ 、ファイバ長 6m
 - ・ Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバ: Tm 添加濃度 1500wt. ppm 、比屈折率差 1.1% 、カットオフ波長 $1.3\mu\text{m}$ 、ファイバ長 5m
 - ・ Tm 添加ビスマス系ガラスファイバ: Tm 添加濃度 1000wt. ppm 、比屈折率差 2.5% 、カットオフ波長 $1.43\mu\text{m}$ 、ファイバ長 4.5m
 - ・ Tm 添加フツリン酸ガラスファイバ: Tm 添加濃度 2500wt. ppm 、比屈折率差 1.1% 、カットオフ波長 $1.36\mu\text{m}$ 、ファイバ長 5.5m
- である。

[0028] 各々の Tm^{3+} 添加ファイバ1に入射する $1.2\mu\text{m}$ 帯励起光量が 50mW であり、バンドパスフィルタ5として $2.3\mu\text{m}$ 帯(透過中心波長 $2.205\mu\text{m}$)バンドパスフィルタを使用した場合において、 $2.205\mu\text{m}$ で Tm 添加フッ化物ファイバを用いた場合には 1.5mW 、 Tm 添加テルライトファイバを用いた場合には 2.2mW 、 Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合には 0.6mW 、 Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合には 0.4mW 、 Tm 添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合には 1.3mW 、 Tm 添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合には 1.1mW のレーザ発振が

それぞれ実現した。

- [0029] さらに、各々のTm添加ファイバに入射する $1.2\mu\text{m}$ 帯励起光量が 50mW であり、バンドパスフィルタ5として $1.8\mu\text{m}$ 帯(透過中心波長 $1.801\mu\text{m}$)バンドパスフィルタを使用した場合において、 $1.801\mu\text{m}$ でTm添加フッ化物ファイバを用いた場合には 2.4mW 、Tm添加テルライトファイバを用いた場合には 3.2mW 、Tm添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合には 0.8mW 、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合には 0.7mW 、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合には 1.9mW 、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合には 1.4mW のレーザ発振がそれぞれ実現した。
- [0030] さらに、バンドパスフィルタ5をチューナブルフィルタに変更することにより、 $2.3\mu\text{m}$ 帯と $1.8\mu\text{m}$ 帯の両波長域でレーザ発振が可能であり、例えば、Tm添加フッ化物ファイバとチューナブルフィルタを用いて $1.75\sim 2.21\mu\text{m}$ 帯の波長可変が実現できた。
- [0031] また、図12に、本実施例において Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバを用いたファイバレーザの出力光量の時間安定性を示す($2.205\mu\text{m}$ レーザ初期出力 1.5mW)。また、同図は $0.67\mu\text{m}$ 帯励起時の特性を合わせて示す(上記と同じレーザ初期出力)。この結果より、 $1.2\mu\text{m}$ 帯励起を用いることにより、高信頼のファイバレーザ応用が可能であることが確認された。
- [0032] また、Tm添加テルライトファイバ、Tm添加カルコゲナイドガラスファイバ、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ、Tm添加ビスマス系ガラスファイバ、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合においても、1000時間動作後のレーザ出力光変動も10%以内であり、これらのガラスにおいても $1.2\mu\text{m}$ 帯励起を用いることにより、高信頼化が実現できることが明らかとなった。

実施例 2

- [0033] 本発明の第2の実施例では、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の光ファイバ増幅器への本発明の応用を説明する。図13に本発明の第2の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ、2は $1.2\mu\text{m}$ 帯励起光源(半導体レーザであって、発振波長 $1.21\mu\text{m}$ 、最大出力 200mW)、3はダイクロイックミラー($1.2\mu\text{m}$ 帯の光を反射、 1.6

ー2.4 μm 帯光を透過)、6は集光レンズである。

[0034] 利得媒質1として、

- ・ Tm添加フッ化物ファイバ(Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.6%、ファイバ長11m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得8.3dB(1.2 μm 帯励起光量が62mWの時)
 - ・ Tm添加テルライトファイバ(Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2.5%、ファイバ長5m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得5.8dB(1.2 μm 帯励起光量が52mWの時)
 - ・ Tm添加カルコゲナイドガラスファイバ(Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.0%、ファイバ長5m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得3.8dB(1.2 μm 帯励起光量が75mWの時)
 - ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ(Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折率差1.1%、ファイバ長6m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得2.7dB(1.2 μm 帯励起光量が73mWの時)
 - ・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ(Tm添加濃度1000wt. ppm、比屈折率差2.5%、ファイバ長5.5m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得4.7dB(1.2 μm 帯励起光量が55mWの時)
 - ・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ(Tm添加濃度2500wt. ppm、比屈折率差1.1%、ファイバ長4.3m)を用いることにより、2.205 μm 信号光に対して信号利得2.2dB(1.2 μm 帯励起光量が86mWの時)
- がそれぞれ実現できた。

[0035] また、上記各種Tm添加ファイバを用いた場合において、上記励起条件で1.8 μm 帯でも信号利得を同様に実現でき、Tm添加フッ化物ファイバを用いた場合には6.2dB(波長1.805 μm)、Tm添加テルライトファイバを用いた場合には5.1dB(波長1.805 μm)、Tm添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合には3.2dB(波長1.805 μm)、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合には3.2dB(波長1.805 μm)、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合には7.5dB(波長1.805 μm)、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合には2.8dB(波長1.805 μm)

m)のレーザ発振がそれぞれ実現した。

実施例 3

[0036] 本発明の第3の実施例では、2.3 μ m帯の自然放出光源への本発明の応用を説明する。図14に、本発明の第3の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質であるTm³⁺添加ファイバ、2は1.2 μ m帯励起光源(半導体レーザであって、発振波長1.21 μ m、最大出力200mW)、3はダイクロイックミラー(1.2 μ m帯の光を反射、2.2 μ m帯光を透過)、6は集光レンズである。

[0037] 図14の構成により、前述の図7、図8に示したように、Tm³⁺添加フッ化物ファイバ、Tm³⁺添加テルライトファイバ、Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイドガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ及びTm³⁺添加フッリン酸ガラスファイバのそれぞれの自然放出光特性が得られる。この特性により2.3 μ m帯で動作する自然放出光源が実現できた。また、図7、図8から、2.3 μ m帯と共に1.8 μ m帯における自然放出光を利用できることが分かる。

[0038] (他の実施形態)

以上の第1〜第3の実施例では、励起光源として、半導体レーザを用いたが、1.2 μ m帯ファイバラマンレーザ等、他の光源を用いても良い。

[0039] なお、本発明の好適な実施形態を例示して説明したが、本発明の実施形態は上記例示に限定されるものではなく、請求の範囲の各請求項に記載の範囲内であれば、その構成部材等の置換、変更、追加、個数の増減、形状の変更等の各種変形は、全て本発明の実施形態に含まれる。

産業上の利用可能性

[0040] 現在、無浸襲血糖値センシングは巨大ビジネスの可能性を有し、国内外の多くの医療検査装置開発企業がしのぎを削った開発競争が進められている。この無浸襲血糖値センシングにおいて、2.3 μ m帯はグルコースの有望な検査波長域の一つであり、この波長域で動作する光源の開発が強く求められている。これまでに、この波長域で動作する光源としては、半導体LDの発振が難しく、Tm添加フッ化物ファイバを用いたファイバレーザあるいは自然放出光源が開発されていたが、励起光として1.05 μ m以下の0.67 μ mあるいは0.8 μ mが用いられていたために、フォトダークニン

グが発生する現象があり、そのため $2.3\mu\text{m}$ 帯の出力光が時間とともに減少して最後には、無出力となるという信頼上の問題があった。本発明は、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を有する実用的な、 $2.3\mu\text{m}$ 帯域で動作するファイバレーザ、ASE光源及び光ファイバ増幅器を実現することができるので、非常に有用である。

請求の範囲

- [1] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、
前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、少なくとも2.3 μm 帯で動作することを特徴とするファイバレーザ。
- [2] 前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項1に記載のファイバレーザ。
- [3] 前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項2に記載のファイバレーザ。
- [4] 少なくとも $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のファイバレーザ。
- [5] 2.3 μm 帯と共に1.8 μm 帯の両波長域で動作することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のファイバレーザ。
- [6] $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と共に $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のファイバレーザ。
- [7] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2.3 μm 帯で動作するファイバレーザにおいて、
励起光源として0.67 μm 帯あるいは0.8 μm 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とするファイバレーザ。
- [8] 少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲル

マン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項7に記載のファイバレーザ。

- [9] 3F_4 から 3H_5 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項7または8に記載のファイバレーザ。
- [10] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、
前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、励起光源として $1.2\ \mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 3H_6 から 3H_5 励起準位へ前記トリウムを励起する励起光源を用い、少なくとも $2.3\ \mu\text{m}$ 帯で動作することを特徴とする自然放出光源。
- [11] 前記トリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項10に記載の自然放出光源。
- [12] 前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項11に記載の自然放出光源。
- [13] 少なくとも 3F_4 から 3H_5 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項10ないし12のいずれかに記載の自然放出光源。
- [14] $2.3\ \mu\text{m}$ 帯と共に $1.8\ \mu\text{m}$ 帯の両波長域で動作することを特徴とする請求項10ないし12のいずれかに記載の自然放出光源。
- [15] 3F_4 から 3H_5 準位へのレーザ遷移と共に 3H_4 から 3H_5 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項10ないし12のいずれかに記載の自然放出光源。
- [16] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、 $2.3\ \mu\text{m}$ 帯で動作する自然放出光源において、
励起光源として $0.67\ \mu\text{m}$ 帯あるいは $0.8\ \mu\text{m}$ 帯の光を用いると共に、少なくとも前記トリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石

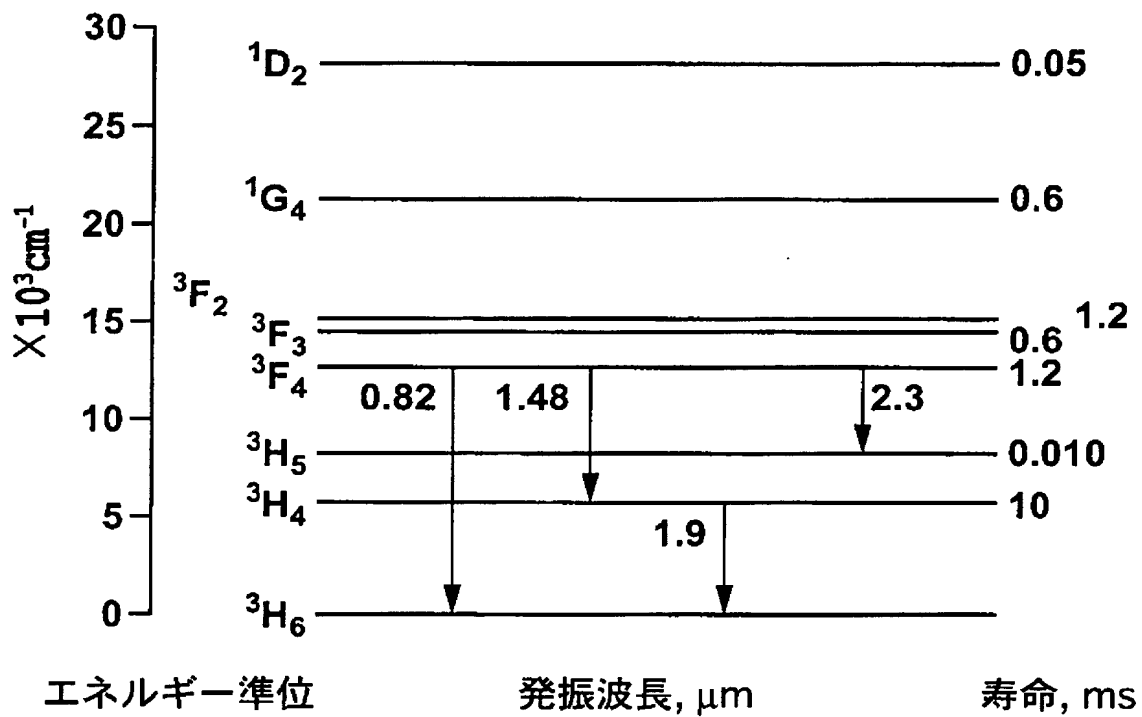
英系ファイバであることを特徴とする自然放出光源。

- [17] 少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項16に記載の自然放出光源。
- [18] ${}^3\text{F}_4$ から ${}^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする特徴とする請求項16または17に記載の自然放出光源。
- [19] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、
前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 ${}^3\text{H}_6$ から ${}^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、少なくとも2.3 μm 帯で動作することを特徴とする光ファイバ増幅器。
- [20] 前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバあることを特徴とする請求項19に記載の光ファイバ増幅器。
- [21] 前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項20に記載の光ファイバ増幅器。
- [22] 少なくとも ${}^3\text{F}_4$ から ${}^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項19ないし21のいずれかに記載の光ファイバ増幅器。
- [23] 2.3 μm 帯と共に1.8 μm 帯の両波長域で動作することを特徴とする請求項19ないし21のいずれかに記載の光ファイバ増幅器。
- [24] ${}^3\text{F}_4$ から ${}^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と共に ${}^3\text{H}_4$ から ${}^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする請求項19ないし21のいずれかに記載の光ファイバ増幅器。
- [25] コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2.3 μm 帯で動作する光ファイバ増幅器において、

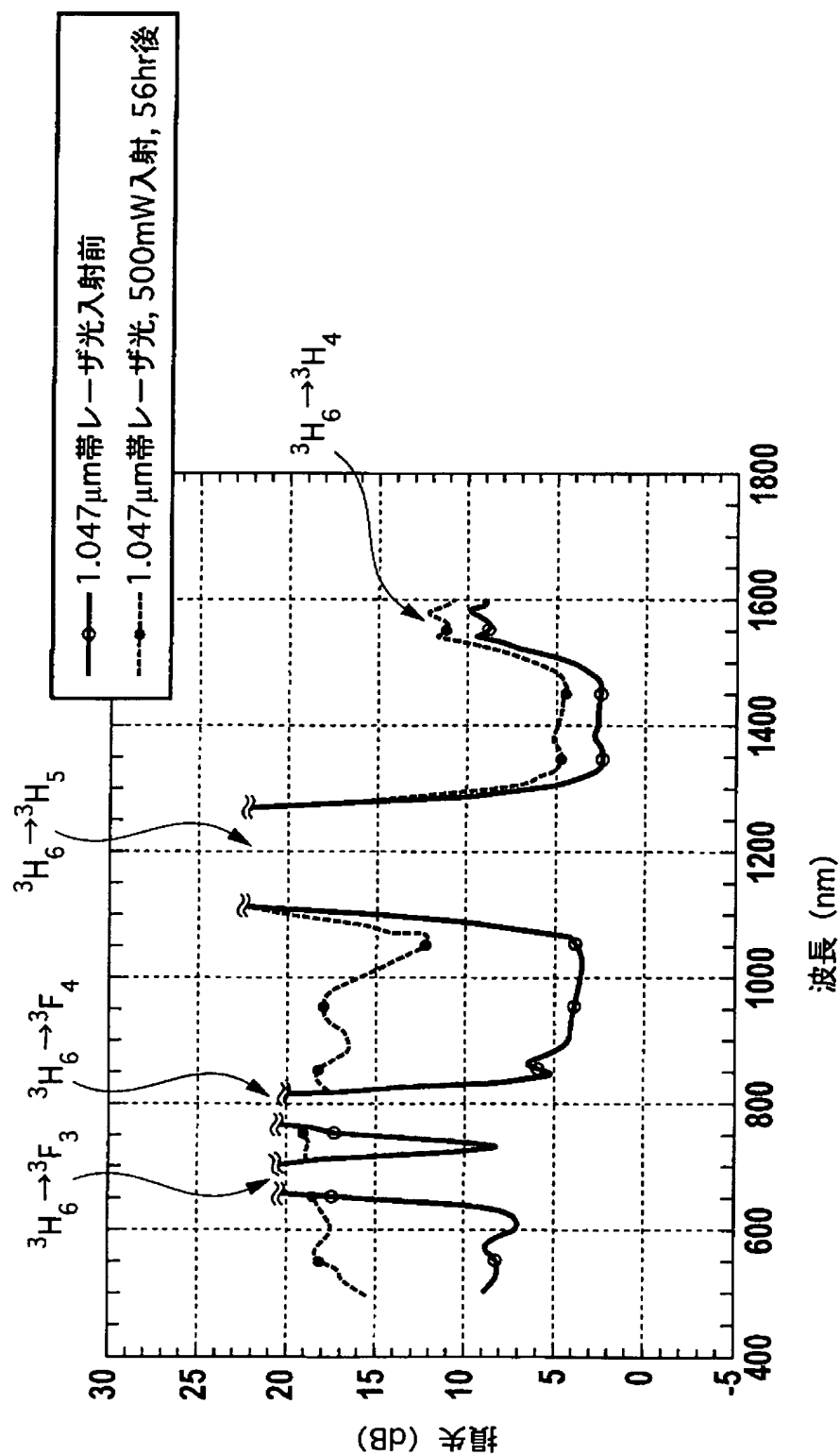
励起光源として0.67 μm 帯あるいは0.8 μm 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

- [26] 少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項25に記載の光ファイバ増幅器。
- [27] ${}^3\text{F}_4$ から ${}^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする特徴とする請求項25または26に記載の光ファイバ増幅器。

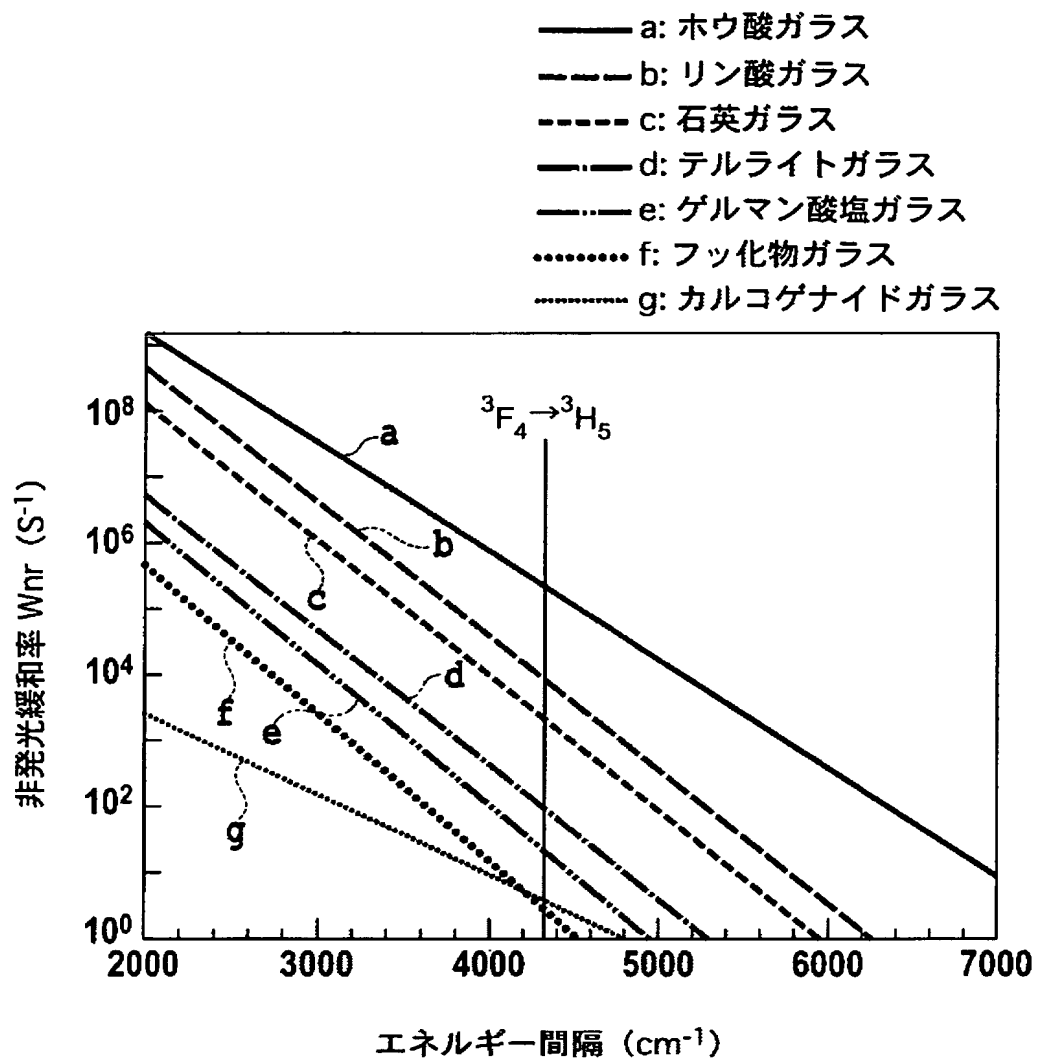
[図1]



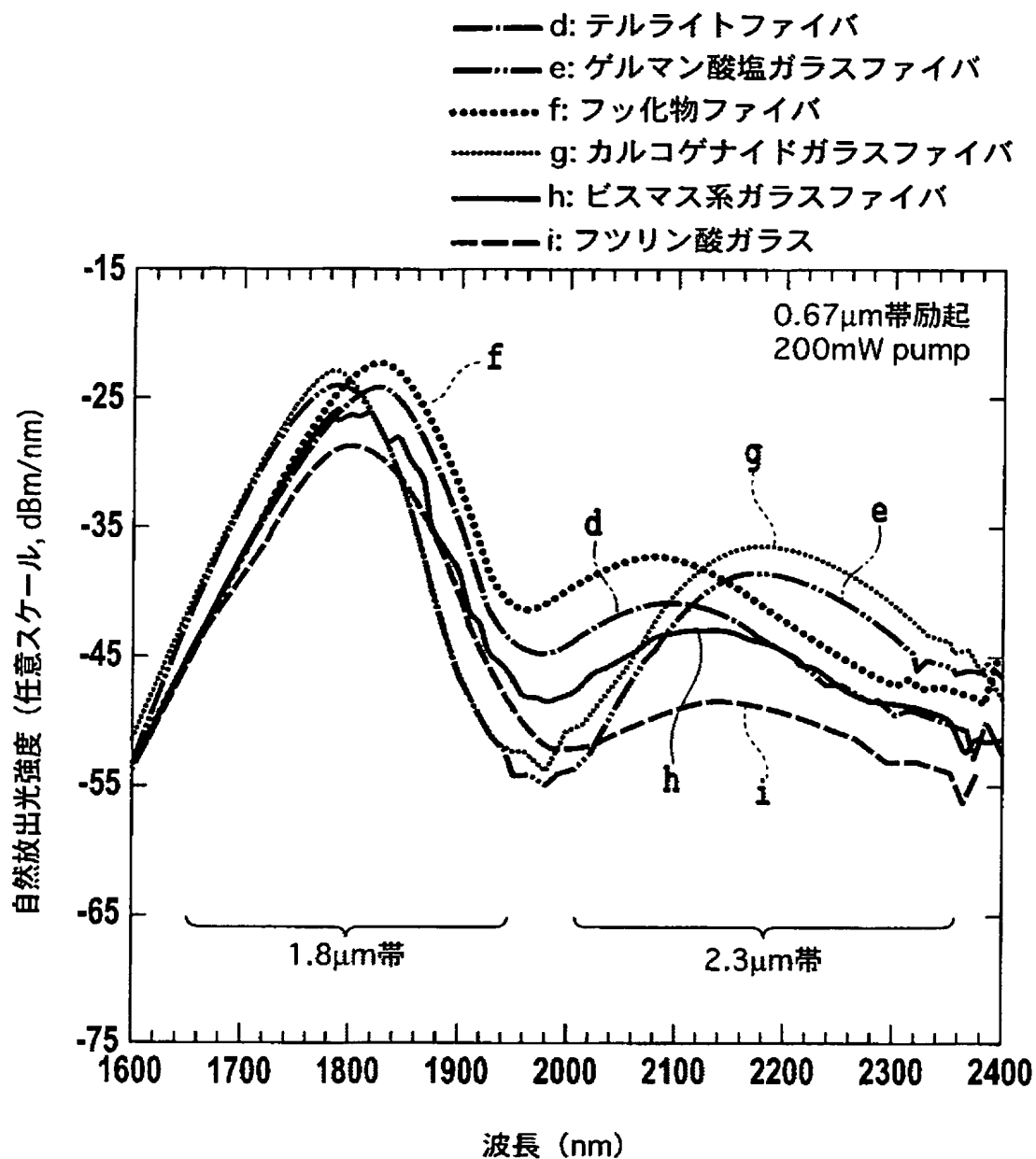
[図2]



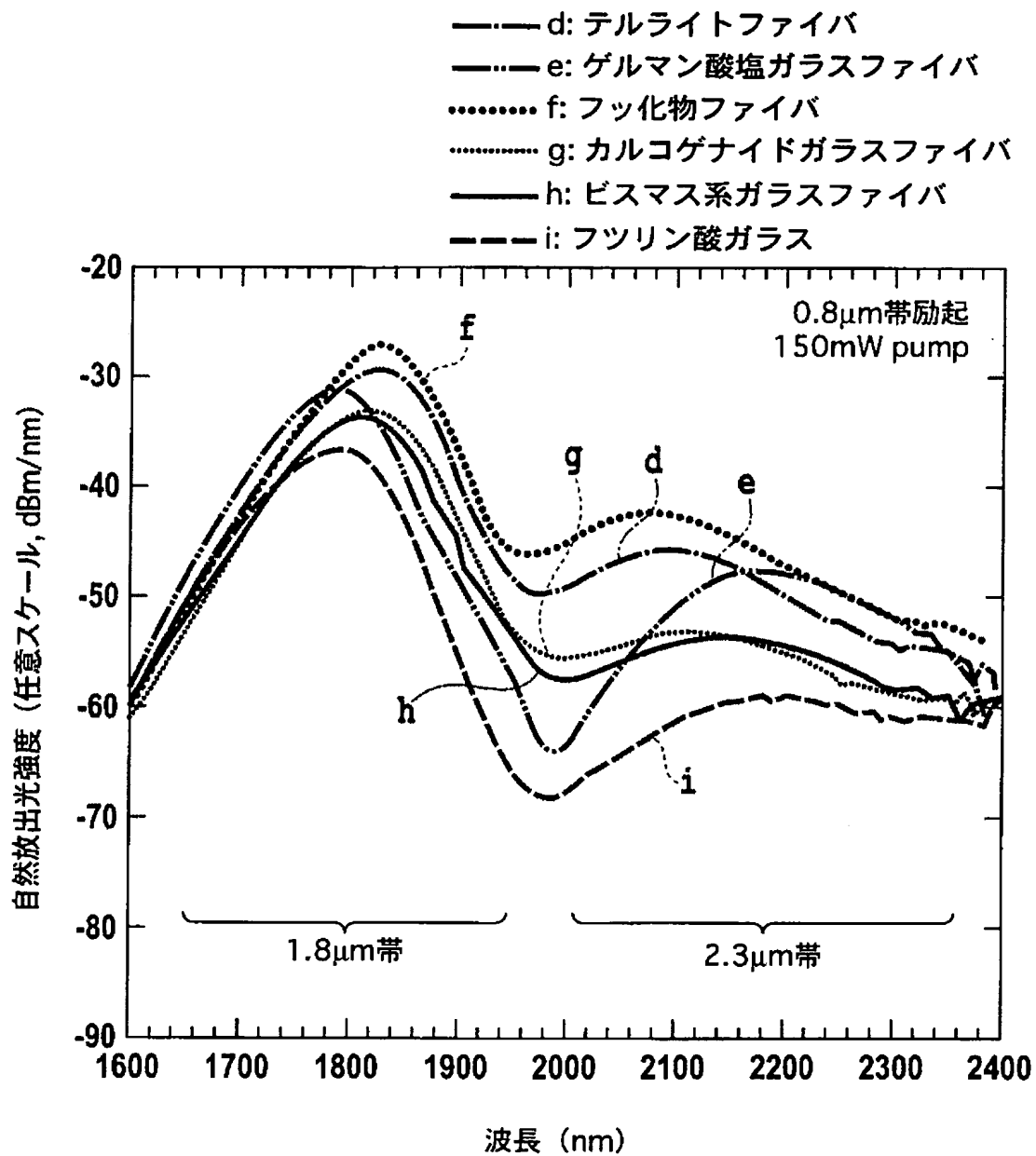
[図3]



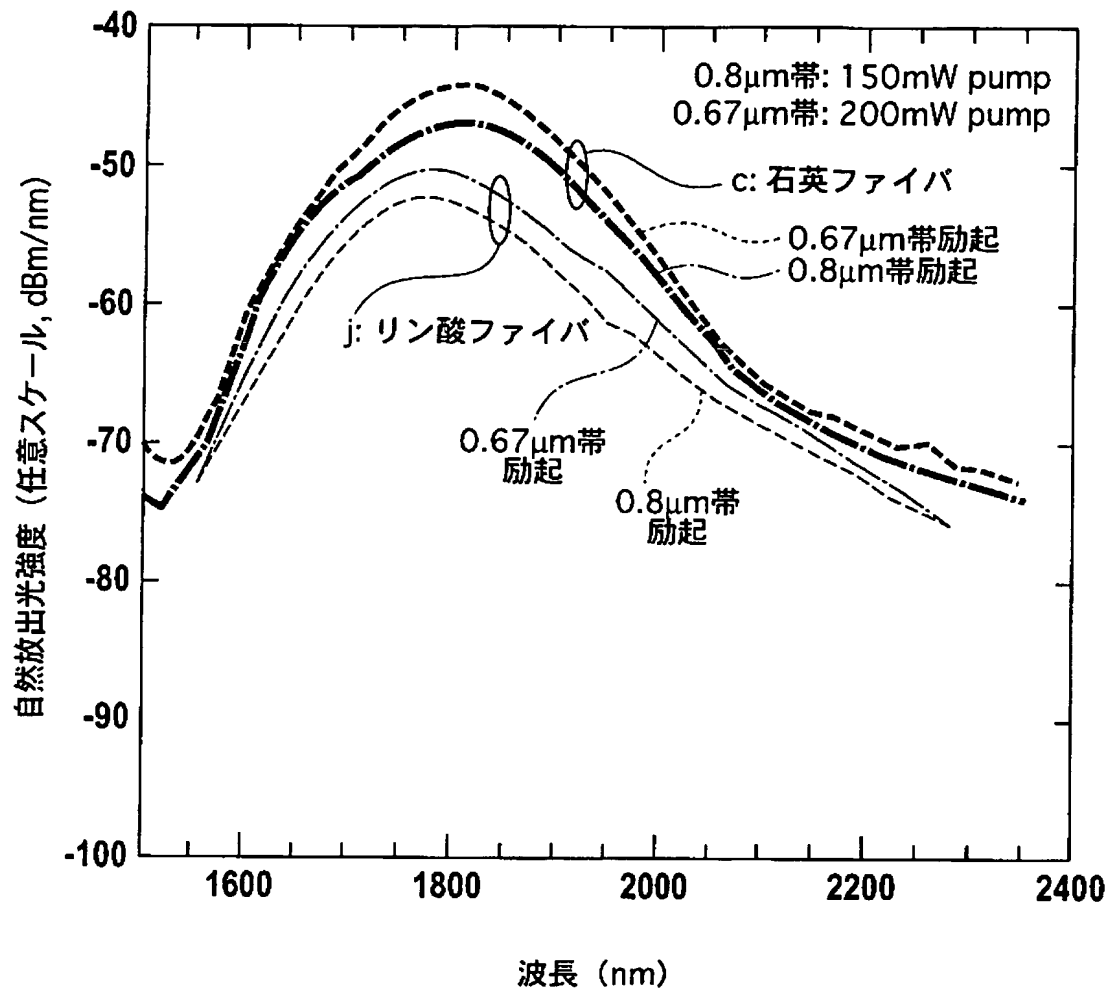
[図4]



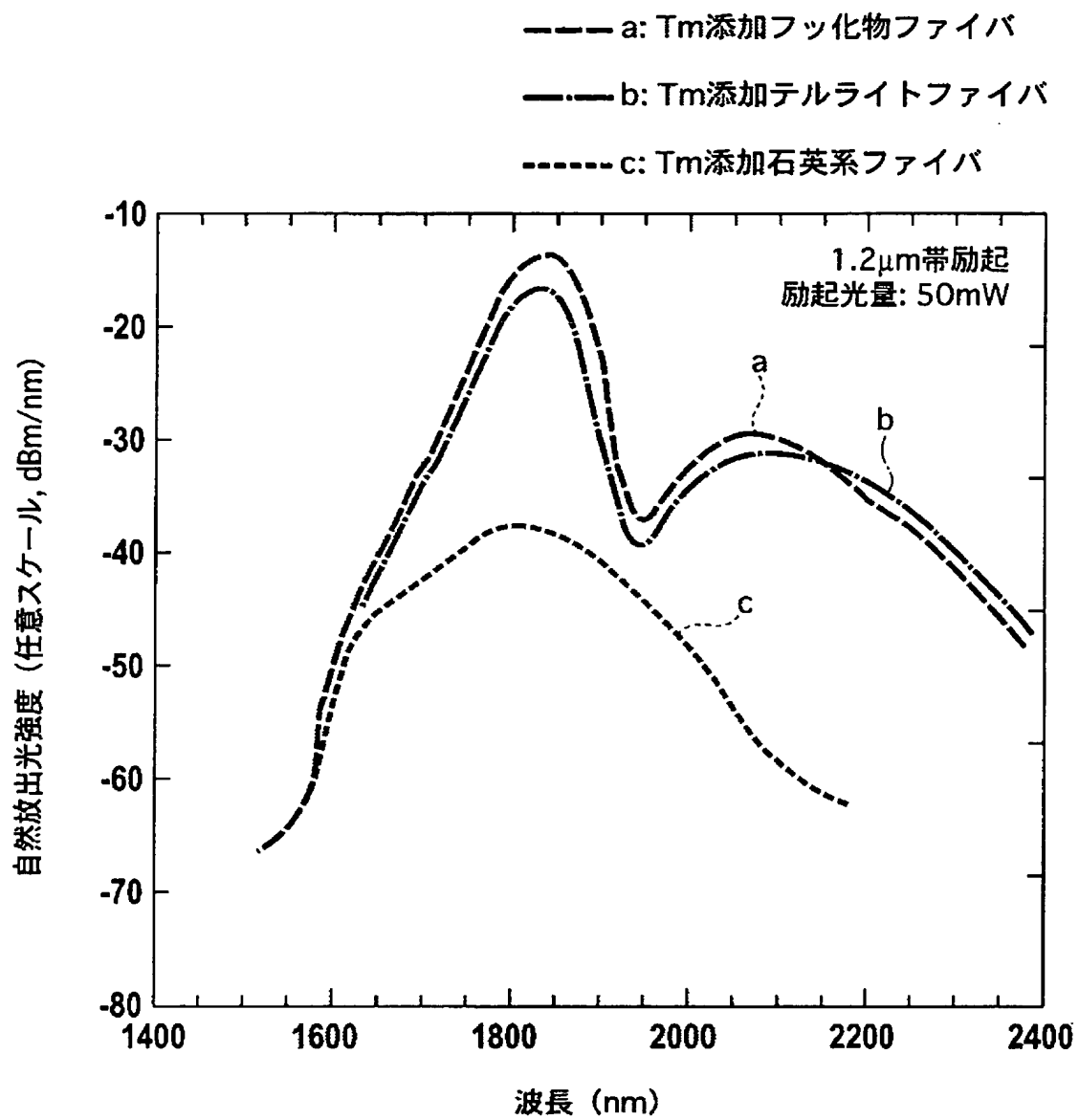
[図5]



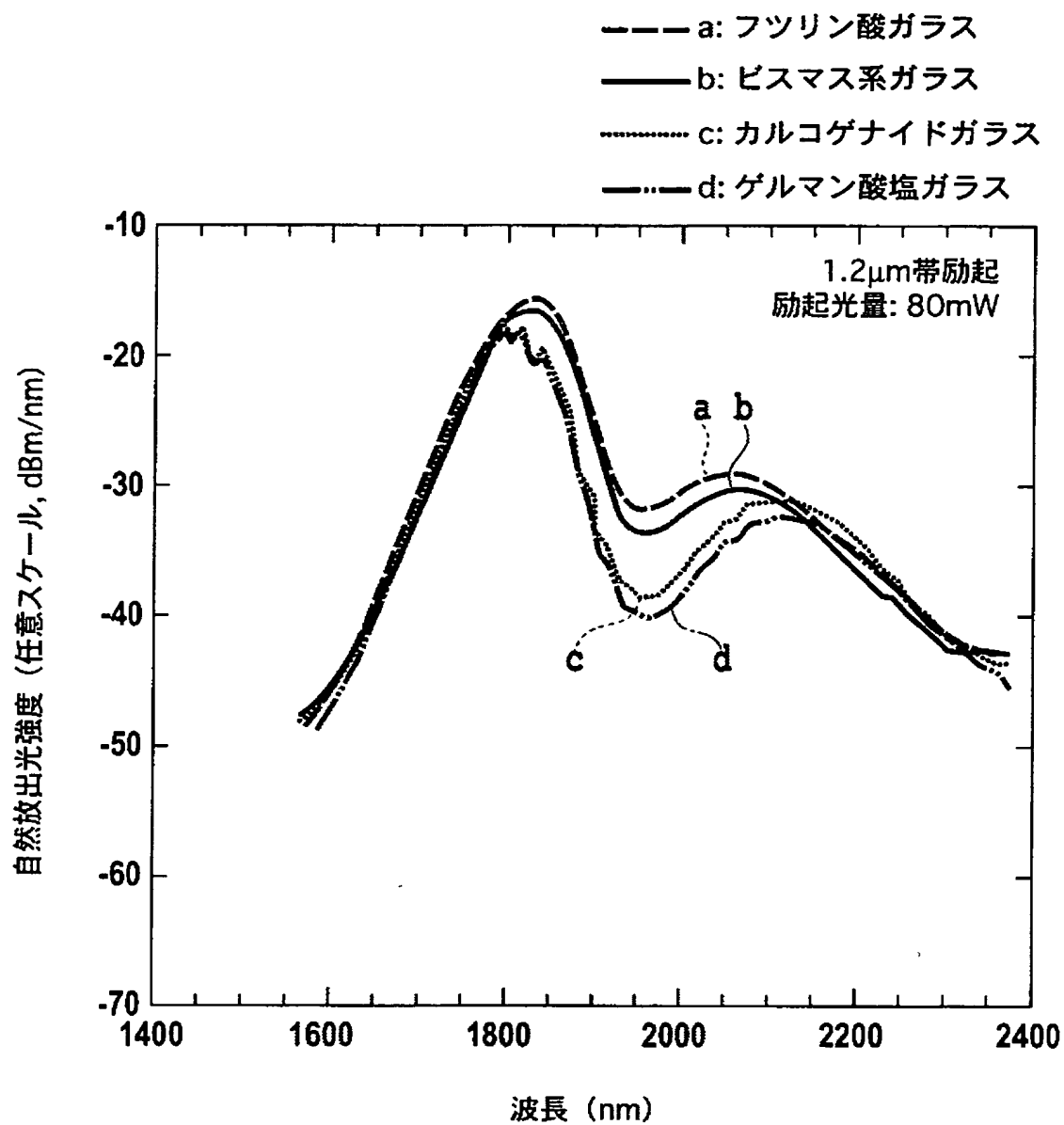
[図6]



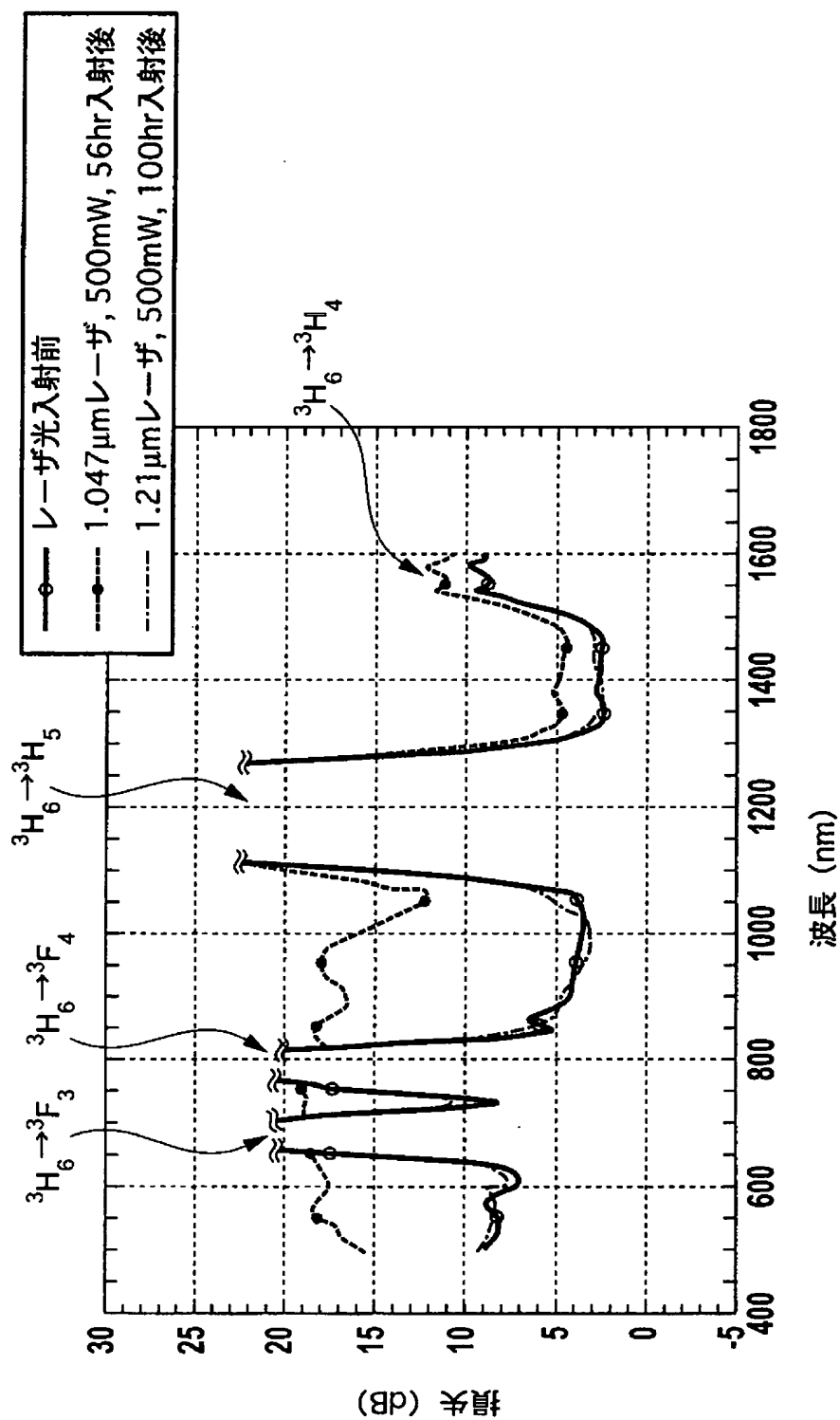
[図7]



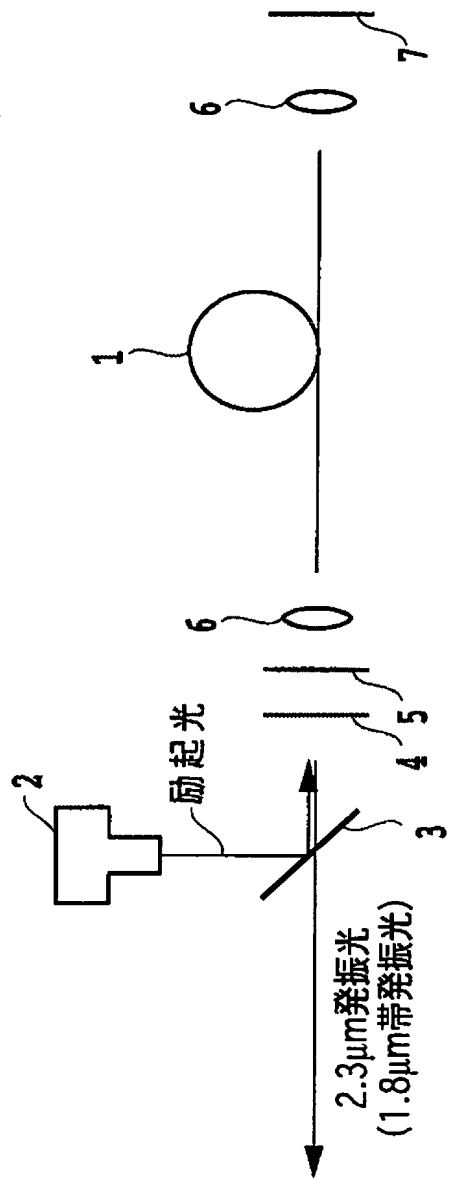
[図8]



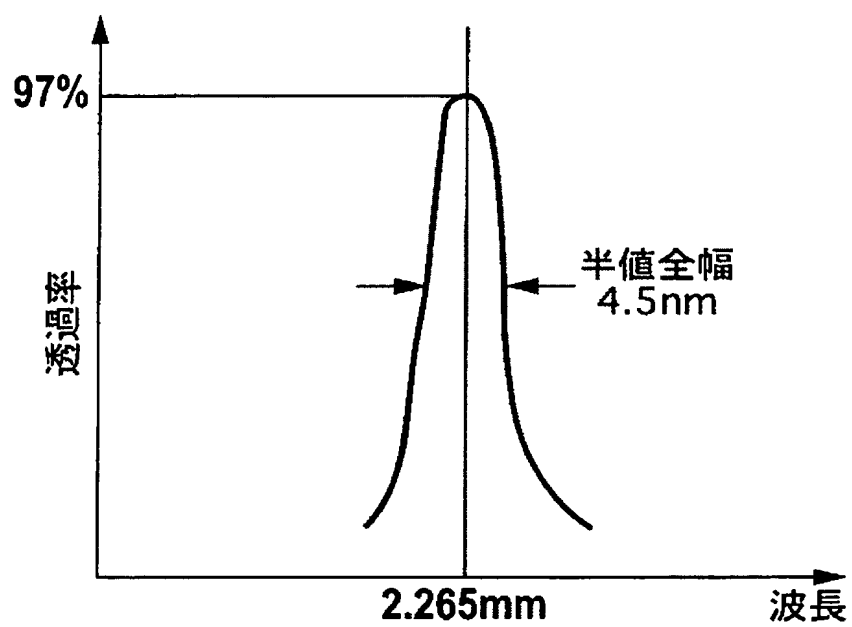
[図9]



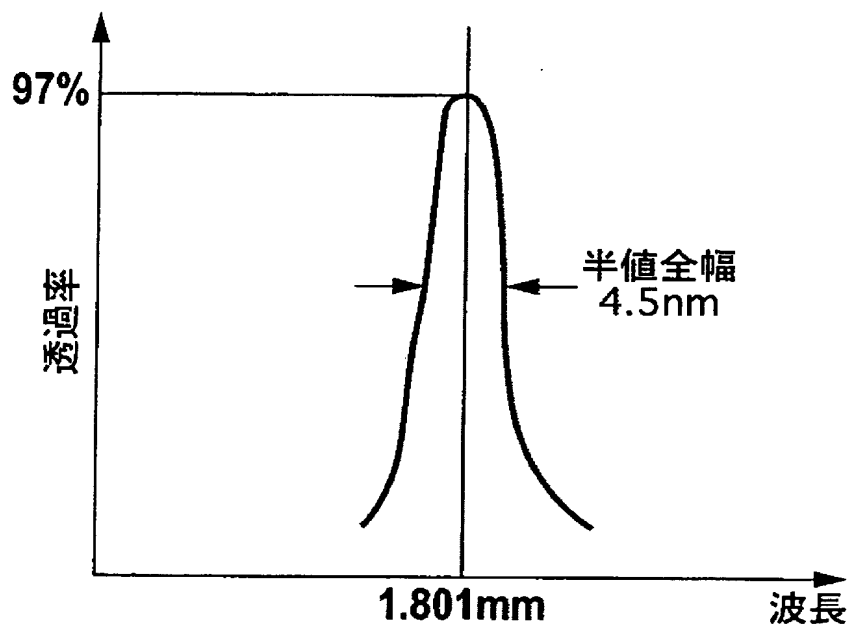
[図10]



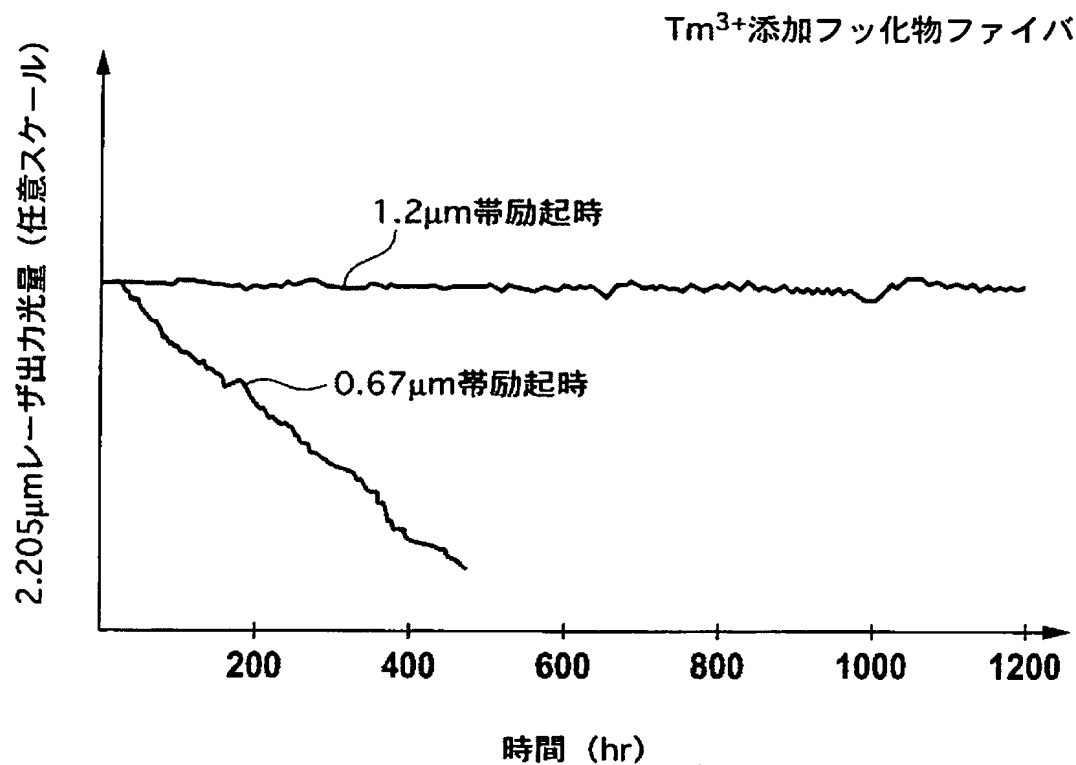
[図11A]



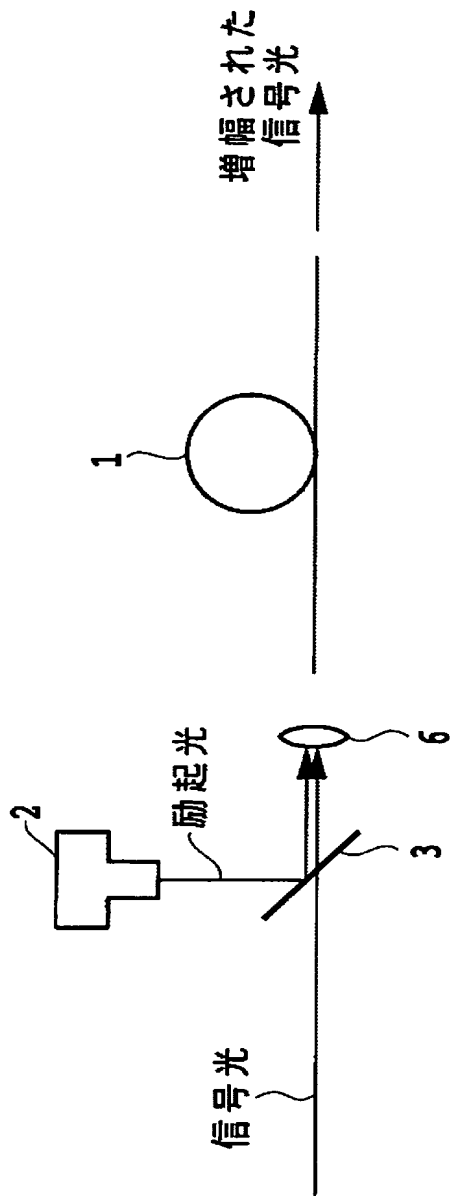
[図11B]



[図12]



[図13]



[図14]

